

## 9. 要 約

(i) 酸アルカリの混合水溶液の少々複雑なるH関係式——3の(iv)又は(v)——は $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ の近似定量に適用し得る様である。

(ii) 特に, (a),  $\log C - \text{pH}$  graph の中庸勾配範囲を拡大する様な溶媒を求め, (b), 同一温度についての熱力学的電離恒数を採用し, (c) その温度に於いて pH 測定を精確に行うことによつてよりよき結果が期待される。

(iii) 主要操作が pH 測定のみであるから一種の迅速定量法としても着目検討せらるべき様である。

本実験に協力されし安川三郎氏, 神田陸夫氏に謝意を表する。(3, 31, 1949)

## 電撃精錬法の沿革に就て

鳥 取 孝 太 郎

## (1) 緒 言

電撃精錬法<sup>1)</sup>は高圧高周波電流に依る「原鉄処理法」<sup>2)</sup>を日本高周波重工業株式会社に於て, 工業的生産化を企図せられたるもので, 記載するものは筆者の関係研究に従事したる同社富山工場電気試験所に於て行われた工業的生産の沿革である。

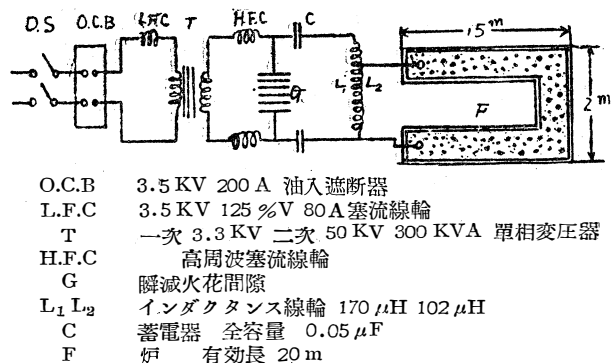
本法は製鋼原料の質的に量的に貧困な我國に於て高爐に不適當な貧鉄処理, 即ち砂鉄精錬を目途とした特殊製鉄法<sup>3)</sup>の一方式である。この高周波に依る生産過程は凡そ二年間の短期間で爾來低周波即ち常用周波を用いて現在に至る。低周波に依る生産過程は凡そ八年間を経運営上或は経済的に或は技術的に幾多の難関に逢着し乍ら, 生産即研究, 研究即生産逐次能く之を克服し数度に亘り電撃爐の大改造を断行し, 遂に良く質的に, 量的に安定せる鉄鋼一貫作業体制を確立し得, 製鋼原鉄の工業的生産方式を実現し, 電力使用の合理化と生産増強に寄與<sup>4)</sup>したる事は周知の通りである。

## (2) 高 周 波 法 (自12年10月至14年10月)

高周波法<sup>5)</sup>は貧鉄即ち粉鉄或は砂鉄に還元作用を呈する物質例えば石炭, コークス等を混在せしめて, 不連続的電導性を帯びしめたる混合資料に, 高圧高周波電流を直接導通すれば, その電流効果<sup>6)</sup>に依り超貧鉄さえも容易に還元し得還元処理が極めて短時間に容易に行われる。

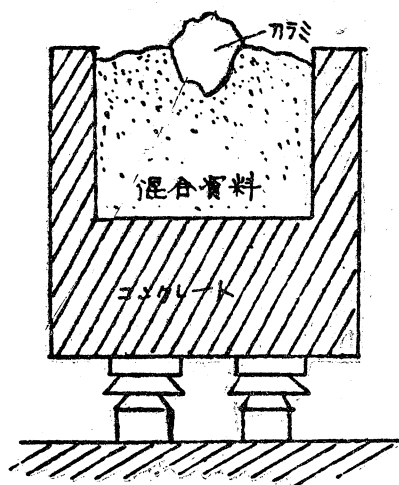
之を基礎とした工業的生産方式の電氣的接続図は第一図の通りである。即ち60°C 3.3 KV の高圧を50 KV に昇圧し, 之を瞬滅火花式高周波発振装置に與え, 30 KC 程度の高周波電圧を発振せしめる。此の電圧を混合資料を装入したるコンクリート製の開放爐所謂電撃爐の両端

第一図 接 続 方 式 図



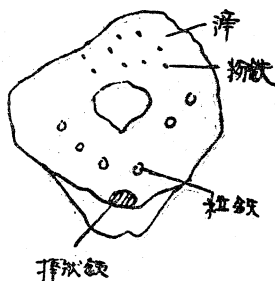
電極に加える。その断面図は第二図の如し。而して混合資料は不連続的な電導性即ち比較的高抵抗性なるが上に、爐長が 20 m と云う長大であるから通電は容易ではない。従つて資料の通電

第二図 炉体断面



路上に適量のコークス粒の如き導体を連続的に撒布したる導電路を設け、起動の瞬間一種の火花放電現象を発生し、遂に全導電路に亘るコークス粒に着火し、導電路の抵抗も急激に低下し電流は流れ始む。電流の増加は還元作用を促進し、還元作用の促進は電流を増加し、導電

第三図 カラミ断面



路を核心として高温還元熔融帯が生成膨脹する。膨脹は電流密度を拡散し、電流効果を漸減するから通電には限度あり、十数分にて操作を完了する。この還元鉄を含有する熔融帯所謂カラミ<sup>9)</sup>を冷却して爐中より取出す。そ

の断面は第三図に示す如く、粉状、粒状であり、又その底部に經 1 cm 程度の棒状鉄が電極間に不連続的に生成される。次に未だ還元されない混合資料に対して同様の操作をなして原鉄を部分的に還元するのである。而してカラミ中の是等の還元鉄は其の 15% 程度以下にして而もその分離は困難なるため、カラミを更にエルー式弧光爐に於て再溶解洗滌して製鋼原鉄を得るのであるから甚だ不経済である。本法の實驗例を示すと第一表の通りで本法と低周波法の比較を示す。加う

第一表 混合資料

製鍊方式	炉長 m	時間 分	カラミ kg	鉄 kg	歩留	電力量 KWH	鉄 t 当 電力量	成 分		
								C	P	S
高周波	20	30	91.0	9.3	10.2	97.5	10,480			
〃	10	20	62.9	7.4	11.7	70.0	9,460			
〃	7	15	39.4	5.6	14.2	45.0	8,040			
〃	5	15	25.0	3.5	14.0	35.0	10,000	1.94	0.164	0.125
低周波	20	14	150.1	30.1	20.1	120.0	3,980			
〃	〃	18	186.4	36.4	19.5	150.0	4,120			
〃	〃	12	122.8	25.5	20.8	95.5	3,740			
〃	〃	12	132.5	26.5	20.0	100.0	3,770	1.41	0.126	0.061

るに瞬滅火花式高周波発振装置<sup>7)</sup>の強化増大は技術的に限度があり、その取扱も容易でなく、而も電撃爐に使用せらるゝ有効電力は 20% 以下なる上に、装置費等に多額の経費を要するので、この種工場生産方式としては不適當であり、遂に簡易

な低周波方式を實驗研究するに至つた。併し本法の成果は電撃爐の特異性で高温熔融帯を圍繞する混合資料は高抵抗性と熱の不良導性のため、爐壁は直接高温に曝されず、又化学的侵蝕もないから爐体は第二図の如くコンクリートを以つて構築し得るので、爐の補修々理は皆無である点である。尙不用に歸した瞬滅式火花発振装置は鋼の表面焼入に実用化され良好の成績<sup>9)</sup>を納めている。

### (3) 初期の低周波法 (自14年10月至17年4月)

本法<sup>9)</sup>は從來使用したる電撃爐の両端電極に常用高压 3300 V を加えるに過ぎないが、起動時の電氣抵抗と還元の進行に伴う電氣抵抗とは甚しい差異があるため、電撃爐を数個の單位爐に分割し、起動に際しては、之れを並列に接続し還元の進行に伴い、順次直列に接続して高压電流を調整<sup>(10)</sup>する。

又従来の通電起動法は起動不安定であるから導電路に適當な導体例へば鉄線の如きものを不連続的に撒布し資料にて適當の厚みに順次蔽い通電<sup>14)</sup>するもので、通電の瞬間その放電現象に依り全導電路に亘り、鉄線熔断しその発生する電熱と還元剤の燃焼熱の増加は、之を圍繞する混合資料を高温度加熱し、遂に原鉱石に対し還元作用を促進し、還元鉄の生成増量は電流の増加を招來する。即ち還元鉄は温度上昇に従い粉狀、海綿狀の過程を経て熔融狀となると共に、滓も増量し、その粘度を低下し、電流即ち分岐電流の増加はそのピンチ効果<sup>12)</sup>を増大し、その凝集力に依り鉄と滓を容易に分離せしめて、鉄をカラミ底部に沈積する金属鉄生成帯に向つて容易に集結する。金属鉄生成帯に於ける電流の凝集力は金属鉄生成帯を断続即電流の断続を反復しその状況は第七図に依り容易に推察し得る。その結果金属鉄生成帯及びその近傍には猛烈な攪拌作用と高温度を誘起する。従つて熔融カラミ中に混在する酸化鉄及石灰に依り金属鉄生成帯に対し脱炭、脱燐、脱硫が行れることは第二表に示す如くであるが本法に於ては精錬時間が短かい爲充分なる精錬が行われなかつた。尙  $Ti_2O_3$ ,  $S_2O_3$  及他の夾雜物は媒熔剤と共に滓中に存在するため、滓と棒狀鉄の分離は極めて容易である。

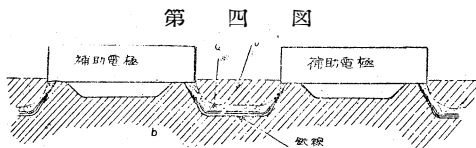
第二図 接続方式圖

本法の電氣的接続方式は第二図で示し原鉄の取得量は高周波法の三倍以上に増量したる上、極めて滓との分離容易なる平均径4乃至6cmの棒狀鉄を得その品位は  $C1.2 \sim 2.0$   $S_2 0.02 \sim 0.07$   $P 0.05 \sim 0.12$   $S 0.06 \sim 0.15$  にして、成分は不均一、P.Sは比較的多き爲造塊作業<sup>13)</sup>を困難ならしめ、更に品質の改善を促したのである。

#### (4) 多極式の低周波法

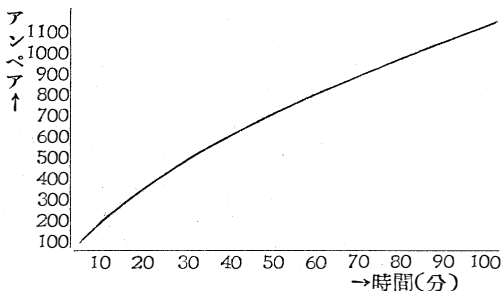
(自17年4月至18年3月)

原鉄の質的、量的の向上増大は通電時間を延長すべきで、その爲カラミ量が増大する結果爐体を改造して爐巾を1.5倍とし、更に主電極間

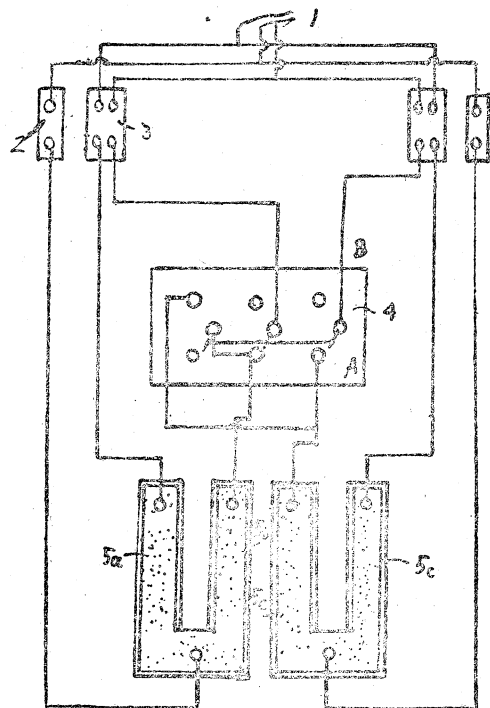


a 還元剤 b 混合資料

第五図



進行せしめる。実験例として補助電極47本を30cmの距離に配置し、混合資料(砂鉄; コークス; 石灰を100; 15; 15; 5)に対し主電極間に3300Vを加えると、60分後には800Aに達し、略一定となる。80分にして電流を遮断すれば各箇所に第四図の如き蘭型の10kg乃至15kgの鉄塊を得一回の取得鉄量は第一期改造に比し15倍前後の増量を示し屯当電力量は3900 KWH

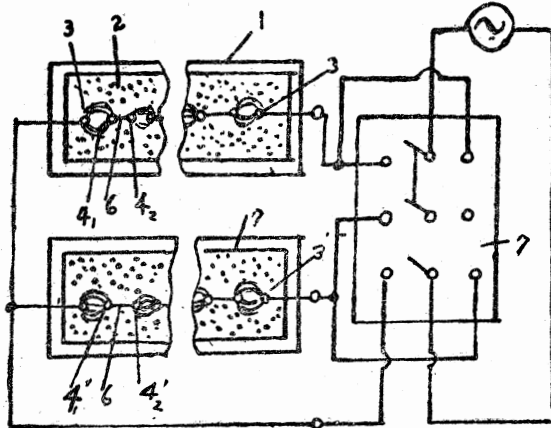


1. 3相 3300 V電線 2,3,4 開閉器  
5a 5b 5c 5d 單位炉

に数多の補助電極を配置して電極と混合資料間の接触抵抗帯に生ずる抵抗熱を利用する方式<sup>14)</sup>を試みた、第三図はその実際操作の一例を示し第四図は通電直前の電極配置状況を示し、かる配置状態にすれば第五図の如き電流曲線に添ふ如く電流が上昇する。尙電極其他調整に依りなるべく均一状態にし反應を

程度にして、その品位は C 0.5~0.7, P 0.1, S 0.1, Si 0.03, Mn 0.03 であり、著しく改善せられ且均一化せられた。併し本法に於ては電極の消耗量極めて高く、又操業も実際の困難を伴

第三図 接 続 方 式 図



1 炉 体

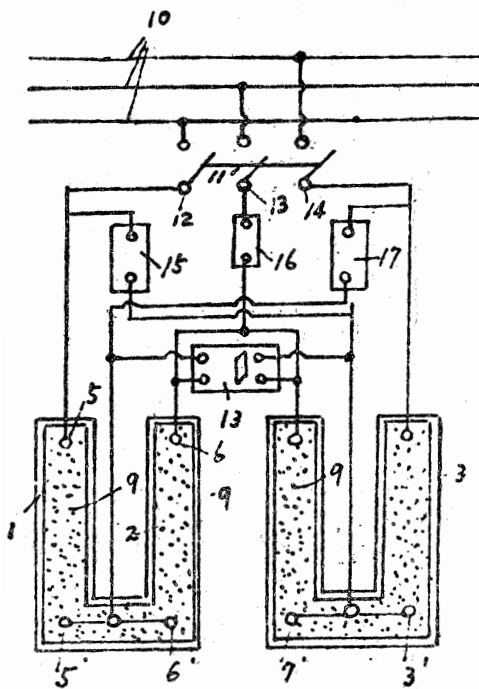
2 混 合 資 料

3, 3' 主 電 極

4, 4' 補 助 電 極

大する電流を調整して還元時間を延長して棒鉄の増大と品位の向上を目的とする方式<sup>15)</sup>である。

第七図 接 続 方 式 図



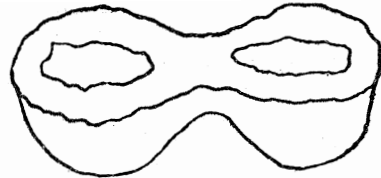
1, 2, 3, 4 単 位 炉

9 混 合 資 料

10 3 相 3300 V 電 源

11, 13, 15, 16, 17 開閉器

第六図 原 鉄 塊



い、且鉄塊の容積及重量大なる爲製鋼弧光爐への装入不便である上、カラミの分離不良なるため造塊歩留は 70 % 程度である。

### (5) 現在の低周波法

(昭和18年4月以降)

本法は多極式に於ける補助電極を廃して、初期に於ける如き単位爐を更に増加して、還元鉄の生成増量に伴う電流の増加に対し単位爐群を適当に切換接続し増

従つて再度の爐体及接続方式の改造を行うた。第五図はその接続例を示し、電撃爐は四の単位爐に分割し、起動に際しては各単位爐は並列に接続し還元の進行に伴い、二爐直列に切換え、次に三爐直列となし、一爐を回路より除外し、適當時に四爐直列に切換するもので、第六図はその各精錬段階に於ける単位爐の電圧、電流曲線を示し、操作

第 二 表

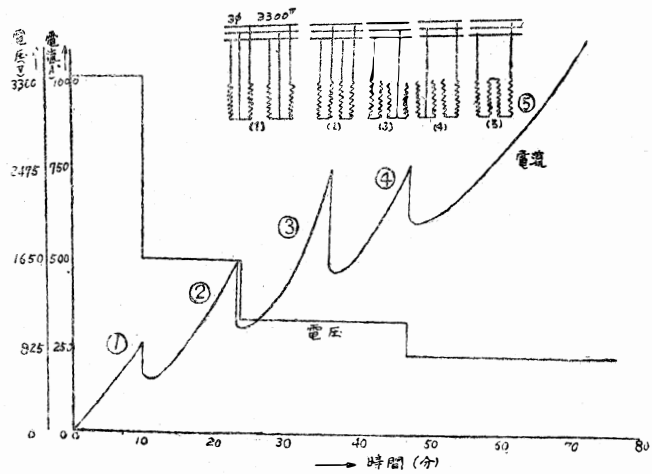
		初 期 の 鉄 原	現 在 の 鉄 原	原 料 成 分
原 鉄 成 分	C	1.72	0.59	砂 鉄
	Si	0.02	0.004	Fe 49.00
	P	0.157	0.050	Si 5.30
	S	0.177	0.038	Ti 6.06
				Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 4.50
滓 成 分	TFe	22.10	25.09	P 0.100
	FeO	25.45	24.36	S 0.054
	F <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.62	7.80	石 炭
	SiO <sub>2</sub>	25.50	22.70	TC 39.9
	TiO <sub>2</sub>	24.42	21.00	灰分 25.6
分	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10.6	8.60	揮発分 31.0
	CaO		7.88	コークス
				TC 68.8
				灰分 24.8
				揮発分 5.00
				石灰石
				CaO 55.00



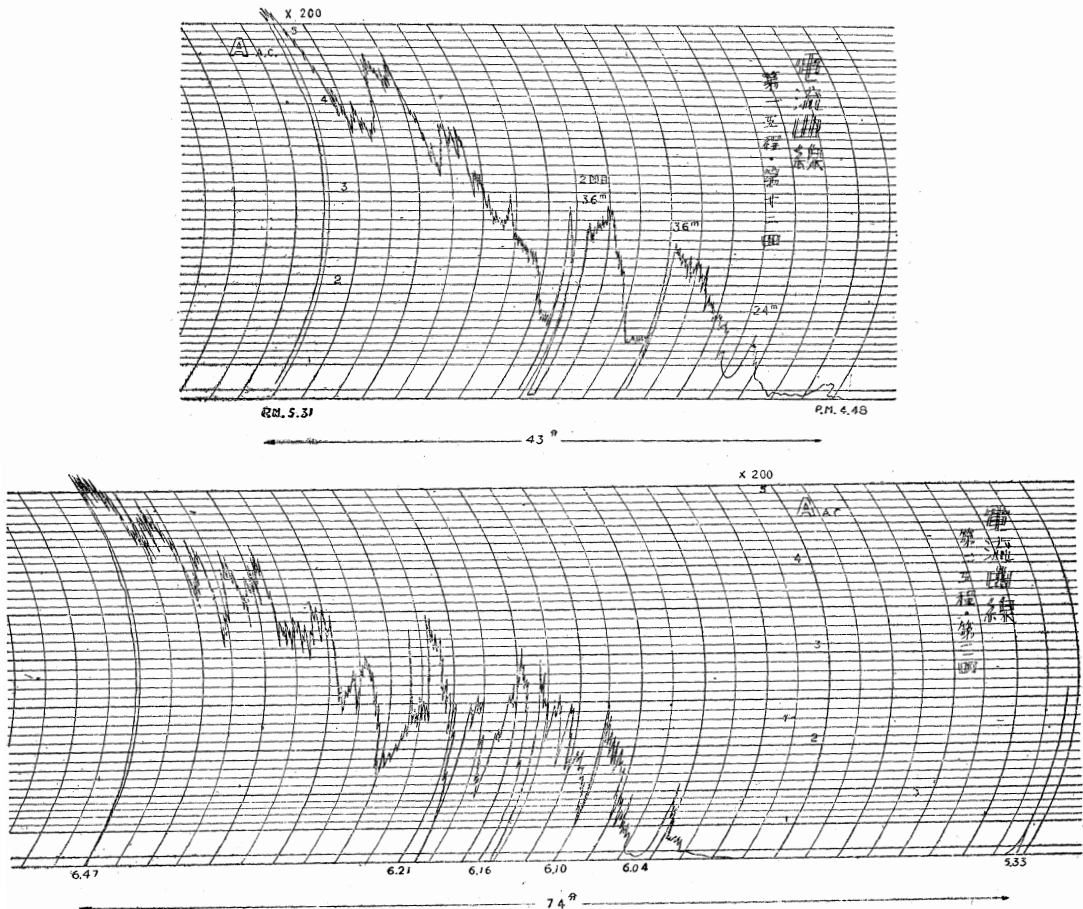
の最終段階に於ては 1000 A 程度の高圧電流が 60 m に亘る熔融還元帯に流れしめ、電流のピンチ効果を機器容量の許す限り發揮して棒状鉄を生成せしむる製鉄方式はその例を見ざるものであろう。一回の操作時間は 40 分乃至 70 分で棒鉄收得量は 400 kg 乃至 500 kg にして、初期のそれに比し径 8 cm 乃至 12 cm 程度の遙かに大きく、金属鉄 99 % を超ゆる棒状鉄となる。

本法に於ける新原鉄と初期に於ける旧原鉄を成分上より比較すれば第二表の如く質的に著しく改善された。かく量に質に著しく向上改善され、製鋼造塊歩留

第 八 図



第 九 図



は90%以上となつたのは結局許容電流の増大と通電時間の延長のため第七図に示す如くピンチ効果を極力發揮せしめたる爲に外ならない。

尙混合資料の電気抵抗温度係数は負性である爲操作回数を重ねるに従い、熔融帶の底部にある

第 三 表

撒水 有無	通電時間	電 力 量	カラミ量	鉄 量	歩 留	屯当電力	配合割合
無	1. 60分	2200KWH	1876.5kg	596.7kg	31.8%	3670KWH	砂鉄 100
	2. 50分	1600	1616.8	393.0	24.0	4070	コークス 20
有	1. 61	1900	1754.5	547.5	31.2	3470	石炭 10
	2. 63	1900	1657.0	552.0	33.3	3440	石灰石 5

資料は過熱せられ、その部分に電流は分流し更に資料を過熱状態に陥り、その復旧に相当時間を空費する場合がある。その

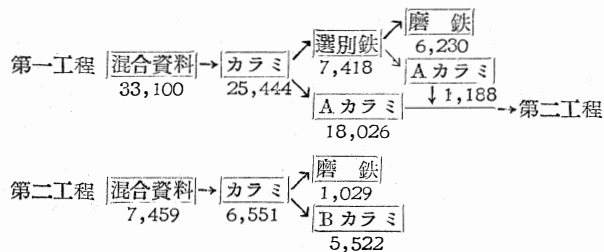
欠点を除く爲には熔融帶周囲の資料層を常に冷状態に保つ事が必要でこの目的に撒水<sup>16)</sup>を行う。此の結果第三表に示す如く原鉄屯当電力量は減少し、操作能率は向上する。

昭和19年当時急激に各種方式の製鋼原鉄製造法が勃興せる爲學術審議会、技術院等にてその実態調査が行われ、該調査<sup>17)</sup>に依る本方式の成果を適記すれば次の如くにして、本法の工業生産方式の確立を実証せられた。

## ① 混 合 資 料

	混 合 割 合	使用量	備 考
第一工程	砂鉄：コークス：石灰石： =100：20：10：5	33,100kg	砂鉄品位
第二工程	Aカラミ：石灰石 =100：8	9,460kg	Fe=48.59%

## ② 電 撃 爐 試 験



## ③ 回 收 率

$$\text{第一工程} = \frac{6,230}{33,100 \times \frac{100}{135} \times 48.59} \times 100 = 52.3\%$$

第二工程 第一工程ヨリ Aカラミハ全部処理セルモノトシテ計算ス

$$\text{混合資料} \quad 19,214\text{kg} \times \frac{108}{100} = 20,750\text{kg}$$

$$\text{回收鉄量} \quad \frac{20,750}{9,459} \times 1,029 = 2,862\text{kg}$$

$$\text{第二工程回収率} = \frac{2,862}{33,100 \times \frac{100}{135} \times 48.59} \times 100 = 24\%$$

$$\text{全回収率} = \frac{6,230 + 2,862}{33,100 \times \frac{100}{135} \times 48.59} \times 100 = 76.3\%$$

## ④ 結 果

○Fe 回収率	76.3%
○屯当砂鉄量	2,690kg
× コークス	538%
× 石 炭	269%
× 石灰石	303%
○屯当電力量	4,710KWH
第一工程	4,620 %
第二工程	5,210 %
○運轉回数	15回
○一回当鉄量	382kg
○磨鉄量	7,259%
○原鉄成分	C, P, S
第一工程	0.51 0.093 0.074
第二工程	0.14 0.097 0.098
○製造能力	

一組一晝夜ニテ 16~18 回トスルト

磨鉄 9,200kg ヲ收得。1ヶ月操業日数ヲ28日トシ、炉ノ修理日数ハ殆トナキモノトス

## ⑤ 所 見

(原鉄溶解試験成績)

通電、歩留共良好にして單味溶解も大なる困難なし、製鋼用原料として屑鉄に比して遜色なし。但し、炭素量や、低きを以て平均0.5~0.8% C程度なる様操業改良の要あり。

## (6) 結 論

従来電気方式に依る砂鉄精錬法は低圧大電流を使用し、その電流効果は熱に依る還元作用を目的とするものであるが本方式の電流効果は勿論還元作用を目的とするも更にそのピンチ効果を最も有効適切に利用する新しい製鉄方式と考えられる。本法に於けるピンチ効果の实际的研明に関しては後日御批判を仰ぐ機会があると思う。

尙電力資源の合理的使用の見地より、豊水時に放流しつゝある大量の余剰電力利用の方途として、立地条件を考慮し電圧の高低如何にかゝらず常用電圧を利用するため設備資材の簡易で、而も操業容易な本法の普及実施は砂鉄の比較的豊富な我國にとつては重要なことであろう。最後に工場研究内容を発表する機会を與えられた日本高周波富山工場関係各位に深甚の感謝を表する次第である。

### 参 考 文 献

- (1) 昭和10年12月 東京日々新聞が「電撃的な精錬法」として発表され、爾來本法の特殊電気炉を電撃炉と称する。
- (2) 特許13016号「原鉱処理法」
- (3) 昭和17年版 特殊鋼年鑑
- (4) 昭和18年10月 逓信大臣賞授典、大日本電気会長表彰状
- (5) 昭和14年10月 電気化学「高圧高周波電流に依る冶金方法」菊池秀之
- (6) 昭和17年5月 鉄と鋼「直接製鋼の一方式」筋益太郎
- (7) 昭和22年3,4月 電気評論「衝撃高周波発生回路」鳥養利三郎、岩本國三
- (8) 高周波表面焼入法、應用化学研究所 山崎惣太郎
- (9) 特許170351号「原鉱電気精錬法」
- (10) 特許149490号「直接通電式還元電気炉の操作方式」
- (11) 特許150040号「直接通電式、還元電気炉の起動法」
- (12) 電熱ノート 大山松次郎
- (13) 昭和15年10月 「粉鉱処理に関する一考察」鉄鋼協会学術講演会 茂木吉次
- (14) 特許157591号 粉鉱還元方法  
／ 150992号 粉鉱還元電気炉
- (15) 特許170568号 直接通電式還元電気炉の操作方法
- (16) 特許171333号 直接通電式粉鉱還元電気炉通電方法
- (17) 昭和19年6月 学術審議会調査 主査 工大 武井武外六名